

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-268305
 (43)Date of publication of application : 22.09.1994

(51)Int.CI. H01S 3/10
 H01S 3/07

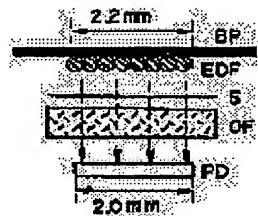
(21)Application number : 05-053430 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
 <NTT>
 (22)Date of filing : 15.03.1993 (72)Inventor : MASUDA KOJI
 AIDA KAZUO

(54) OPTICAL AMPLIFIER

(57)Abstract:

PURPOSE: To realize an optical amplifier which can monitor the gain highly accurately by interposing an optical filter passing only the light emitted spontaneously from a fiber added with rare earth elements between the fiber added with rare earth elements and a light receiving element.

CONSTITUTION: An erbium added fiber EDF is applied with a transparent plastic coating having diameter of 250 μm and secured onto a blanking plate BP at a predetermined interval over a width of 2.2mm. A germanium photodiode PD is disposed oppositely to the secured part. The germanium photodiode PD has disc type light receiving part of 2.0mm diameter. A dielectric multilayer optical filter OF comprises multilayers of $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ deposited on a glass plate. A slit of 2.2mm wide is made in order to limit the incident angle of spontaneous light and scattering light to the optical filter OF at about 30° . The distance between the light receiving plane of the PD and the BP is set at 2.5mm.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3230708

[Date of registration] 14.09.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

- [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-268305

(43)公開日 平成6年(1994)9月22日

(51)Int.Cl.⁵
H 0 1 S 3/10
3/07

識別記号 Z 8934-4M
8934-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 15 頁)

(21)出願番号

特願平5-53430

(22)出願日

平成5年(1993)3月15日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 増田 浩次

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 相田 一夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

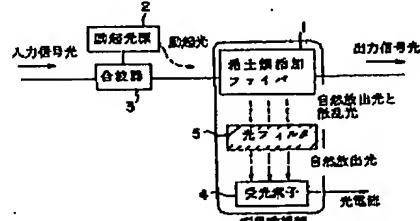
(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

(54)【発明の名称】光増幅器

(57)【要約】

【目的】 利得を高精度に監視し得る光増幅器を提供する。

【構成】 信号光を励起光源2からの励起光とともに希土類添加ファイバ1に入力して増幅するとともに、この際、希土類添加ファイバ1からその周囲に放出される光を受光素子4で受光して利得を監視する光増幅器において、希土類添加ファイバ1と受光素子4との間に、該希土類添加ファイバ1から放出される自然放出光のみを透過する光フィルタ5を設置することにより、散乱光による光電流を除去し、光電流で監視する利得への影響を排除する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号光を励起光源からの励起光とともに希土類添加ファイバに入力して増幅するとともに、この際、希土類添加ファイバからその周囲に放出される光を受光素子で受光して利得を監視する光増幅器において、希土類添加ファイバと受光素子との間に、該希土類添加ファイバから放出される自然放出光のみを透過する光フィルタを設置したことを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 信号光を励起光源からの励起光とともに希土類添加ファイバに入力して増幅するとともに、この際、希土類添加ファイバからその周囲に放出される光を受光素子で受光して利得を監視する光増幅器において、光吸収係数が大きい希土類添加ファイバを用いたことを特徴とする光増幅器。

【請求項3】 信号光を励起光源からの励起光とともに希土類添加ファイバに入力して増幅するとともに、この際、希土類添加ファイバからその周囲に放出される光を受光素子で受光して利得を監視する光増幅器において、希土類添加ファイバから放出される散乱光の波長に対する感度が小さく且つ自然放出光の波長に対する感度が大きい受光素子を用いたことを特徴とする光増幅器。

【請求項4】 信号光を励起光源からの励起光とともに希土類添加ファイバに入力して増幅するとともに、この際、希土類添加ファイバからその周囲に放出される光を受光素子で受光して利得を監視する光増幅器において、励起光源よりパルス状の励起光を発生させるパルス駆動回路を設けるとともに、希土類添加ファイバと受光素子との間に光ゲートを設置し、

前記パルス駆動回路及び光ゲートを同期して駆動するよ

うにしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項5】 信号光を励起光源からの励起光とともに

希土類添加ファイバに入力して増幅するとともに、この

際、希土類添加ファイバからその周囲に放出される光を

$$I_{SE} = P_{SE} S_{SE},$$

$$I_{scat} = P_{scat} S_{scat}$$

であり、測定される光電流、即ち全光電流 I は、

$$I = I_{SE} + I_{scat}$$

である。

【0006】一方、前記光増幅器の利得 G は光電流成分 $G = a + b I_{SE}$

と表される。但し、 a 、 b は励起光パワー P_1 及び信号光パワー P_2 に依存しない定数である。

$$I \approx I_{SE}$$

と近似できるので、(3) 及び(4) 式より、

$$G = a + b I$$

となり、利得 G を光電流 I で監視できる。但し、定数 a 、 b は前もって求めておく。この時の利得 G と光電流 I との関係を図3(a) に示す。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の

受光素子で受光して利得を監視する光増幅器において、励起光源よりパルス状の励起光を発生させるパルス駆動回路を設けるとともに、受光素子の後段に電気ゲートを設置し、前記パルス駆動回路及び電気ゲートを同期して駆動するようになったことを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光伝送システムや光信号処理において必要とされる、利得監視機能付きの光増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図2は従来のこの種の光増幅器の一例、ここでは特願平3-131326号に記載された光増幅器を示す。

【0003】 図2において、1は希土類添加ファイバ (RDF)、2は励起光源、3は合波器、4は受光素子である。この光増幅器への入力信号光は合波器3で励起光源2からの励起光と合波されてRDF1へ入射され、ここで励起光は吸収され、信号光は増幅されて出力される。

【0004】 この際、RDF1から自然放出光 (SE光) 及び散乱光がその周囲に放出される。この散乱光は、励起光、信号光及びASE光がレーリー散乱等により散乱されたものである。前記SE光及び散乱光は、RDF1の近くに設置された受光素子4で受光され、光電流として検出される。前記RDF1及び受光素子4は利得監視部を構成する。

【0005】 前記SE光及び散乱光のパワーをそれぞれ P_{SE} 及び P_{scat} 、SE光及び散乱光に対する光電流をそれぞれ I_{SE} 及び I_{scat} 、SE光及び散乱光に対する受光素子4の感度をそれぞれ S_{SE} 及び S_{scat} とすると、

$$\dots\dots(1)$$

$$\dots\dots(2)$$

I_{SE} を用いて、

$$\dots\dots(3)$$

【0007】 ここで、 I_{scat} が I_{SE} に比べて十分小さければ、(2) 式より、

$$\dots\dots(4)$$

$$\dots\dots(5)$$

光増幅器では I_{scat} が I_{SE} に比べて十分小さくないので、利得 G と光電流 I との対応関係は励起光パワー P_1 及び信号光パワー P_2 に依存する。

【0009】 図3(b) は励起光パワー P_1 を P_1 、 P_2 、 P_3 ($P_1 < P_2 < P_3$) とした時の利得 G と光

電流 I との対応関係、並びに利得 G の平均値、即ち監視値と光電流 I との対応関係を示すもので、利得の監視値と実際の利得との差が励起光パワー P に依存していることがわかる。

【0010】本発明は前記従来の問題点に鑑み、利得の監視値と実際の利得との差が小さい、即ち利得を高精度

$$R = (P_{scat} / P_{SE}) (S_{scat} / S_{SE})$$

であるから、 R を小さくするには、 P_{scat} / P_{SE} 又は S_{scat} / S_{SE} を小さくすれば良い。また、受光素子で検出された光電流 I_{scat} 及び I_{SE} に対し、 I_{scat} のみを除去しても良い。以下、請求項に対応する具体的な手段をその作用とともに説明する。

【0012】

【作用】図1は請求項1に対応する本発明の光増幅器を示すもので、従来例とは光フィルタを用いた点が異なる。即ち、図中、1は希土類添加ファイバ (RDF)、2は励起光源、3は合波器、4は受光素子、5は光フィルタである。

【0013】図4はRDF1からのSE光及び散乱光のパワースペクトルを示すもので、図中、 λ_e は励起光の波長、 λ_s は信号光の波長、 λ_{SE} はSE光の中心波長である。なお、ASE光の散乱光はほとんどの場合、その寄与するところが小さいので省略した。また、図4に示すSE光、散乱励起光及び散乱信号光のパワーをそれぞれ P_{SE} 、 P_{scat} 及び P_{scatSE} とする。

【0014】図1に示すように、RDF1と受光素子4との間に光フィルタ5を挿入し、前記SE光と散乱光がこの光フィルタ5を通過するようにする。

【0015】図5は光フィルタ5の透過率の波長依存性を示すもので、SE光に対する透過率 T_{SE} は高く ($T_{SE} \sim 1$)、散乱励起光及び散乱信号光に対する透過率 T_{scat} 及び T_{scatSE} は低い ($T_{scat} \sim T_{scatSE} \sim 0$)。該光フィルタ5を通過後のSE光、散乱励起光及び散乱信号光のパワーをそれぞれ P_{SE1} 、 P_{scat1} 及び $P_{scatSE1}$ とする。

【0016】前述したパワー比 P_{scat} / P_{SE} は、光フィルタ5の通過前で P_{scat} / P_{SE0} 、 P_{scatSE} / P_{SE0} 、光フィルタ5の通過後で P_{scat1} / P_{SE1} 、 $P_{scatSE1} / P_{SE1}$ であり、 $P_{scat1} / P_{SE1} \ll P_{scat} / P_{SE0}$ 、 $P_{scatSE1} / P_{SE1} \ll P_{scatSE} / P_{SE0}$ の関係がある。従って、光フィルタ5を用いることにより、パワー比 P_{scat} / P_{SE} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0017】図6は請求項2に対応する本発明の光増幅器

$$T_e = nL/c$$

である。但し、 n はRDF1の屈折率、 c は空気中の光速である。 $T_e < T_e$ の時に、受光素子4へ入射する散乱励起光の空間平均パワーの時間依存性を図12に示す。

【0023】RDF1と受光素子4との間に光ゲート9

に監視し得る光増幅器を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記(2)、(3)式より、 I_{scat} と I_{SE} との比 $R = I_{scat} / I_{SE}$ を小さくすれば利得監視の精度が向上する。前記(1)式より、

$$\dots\dots(6)$$

器を示すもので、従来例とは光吸収係数の大きな希土類添加ファイバを用いた点が異なる。即ち、図中、2は励起光源、3は合波器、4は受光素子、6は高吸収係数の希土類添加ファイバ (RDF) である。

【0018】図7はRDF6からのSE光及び散乱光のパワースペクトルを、従来のRDFからのスペクトルとともに示すものである(但し、RDFの受光素子4に面する長さは同一とする)。この図面から、散乱光パワーについては従来例と同程度であるが、SE光パワーについては本発明の方が従来例より大きいことがわかる。従って、パワー比 P_{scat} / P_{SE} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0019】図8は請求項3に対応する本発明の光増幅器を示すもので、従来例とは波長選択性受光素子を用いた点が異なる。即ち、図中、1は希土類添加ファイバ (RDF)、2は励起光源、3は合波器、7は波長選択性受光素子である。

【0020】図9は波長選択性受光素子7の感度波長特性を、従来の受光素子の感度波長特性とともに示すものである。この図面から、SE光に対する感度は従来例と同程度であるが、散乱光に対する感度は本発明の方が従来例に比べて小さいことが分かる。従って、前述した感度比 S_{scat} / S_{SE} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0021】図10は請求項4に対応する本発明の光増幅器を示すもので、従来例とはパルス駆動回路と光ゲートを用いた点が異なる。即ち、図中、1は希土類添加ファイバ (RDF)、2は励起光源、3は合波器、4は受光素子、8は駆動回路、9は光ゲートである。本構成は、散乱励起光による光電流が散乱信号光による光電流より大きい場合に有効であるので、これを前提とする。

【0022】励起光源2をパルス駆動回路8で駆動する。図11はRDF1へ入射する励起光の時間依存性を示す。励起光は、従来例では連続光であるが、本発明では繰返し時間 T_r (繰返し周波数 $f_r = 1/T_r$) のパルス列となる。また、RDF1の長さを L とすると、励起光がRDF1を通過する時間 T_e は、

$$\dots\dots(7)$$

を設置するとともに、該光ゲート9をパルス駆動回路8で励起光源2と同期して駆動する。この光ゲート9の透過率の時間依存性を図13に示す。この図面から、散乱励起光は光ゲート9で完全に除去される。一方、SE光はその一部がこの光ゲート9で除去され、残りは受光素

子4へ入射される。従って、光パワー比 P_{scat}/P_{ss} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0024】図14は請求項5に対応する本発明の光増幅器を示すもので、従来例とはパルス駆動回路と電気ゲートを用いた点が異なる。即ち、図中、1は希土類添加ファイバ(RDF)、2は励起光源、3は合波器、4は受光素子、8は駆動回路、10は電気ゲートである。本構成は、散乱励起光による光電流が散乱信号光による光電流より大きい場合に有効であるので、これを前提とする。

【0025】励起光源2をパルス駆動回路8で駆動する。RDF1へ入射する励起光の時間依存性は図11と同様である。また、励起光は、図10の構成と同様、繰返し時間 T_r 、(繰返し周波数 $f_r = 1/T_r$)のパルス列となる。また、RDF1の長さを L とした時の時間 T_r も、図10の構成と同様に(7)式で表される。さらにも、 $T_r < T_s$ の時に受光素子4へ入射する散乱励起光の空間平均パワーの時間依存性も図12と同様である。

【0026】受光素子4の周波数帯域を f_{ss} とすると、本構成では $f_r < f_{ss}$ である。受光素子4の後段に電気ゲート10を設置する。この電気ゲート10の透過率の時間依存性は図13と同様である。この図から、散乱励起光による光電流は電気ゲート10で完全に除去される。一方、SE光による光電流はその一部が電気ゲート10で除去され、残りは通過する。従って、前述した光電流比 I_{scat}/I_{ss} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0027】

【実施例】以下、図面を用いて、本発明の実施例を説明する。図15は図1の構成に対応した第1の実施例を示すもので、図中、11はエルビウム(Er³⁺)添加ファイバ(EDF)、12は波長0.98μm又は1.48μmのレーザダイオード(LD)、13は合波器、14はゲルマニウム・フォトダイオード(PD)、15は誘電体多層膜光フィルタ、16はスリット、17、18は光アイソレータである。また、信号光の波長は1.552μmである。

【0028】図16はEDF11、PD14、誘電体多層膜光フィルタ(OF)15及びスリット(S)16で構成される利得監視部の詳細を示すもので、同図(a)は立体図、同図(b)は横断面図、同図(c)は正面図である。

【0029】EDF11は直徑250μmの透明なプラスチックの被覆を有し、一定間隔で遮蔽板(BP)上に固定されている。その固定された部分の幅は2.2mmである。また、その固定された部分に面してPD14が置かれている。PD14の受光部分は直徑2.0mmの円盤状である。OF15はSiO₂/TiO₂の多層膜をガラス板上に蒸着したものである。スリット16はOF15

の補助、具体的にはSE光と散乱光のOF15への入射角を30度程度に制限するために用いられるもので、その幅は2.2mmである。また、PD14の受光面と遮蔽板BPとの距離は2.5mmである。

【0030】図17はEDF11からの出射光のパワースペクトルを示すもので、波長1.5μmのSE光と波長0.98μmの散乱励起光が示されている。本エルビウム添加ファイバ増幅器は前置増幅器として使われるため、EDF11中を伝播する信号光のパワーは小さく、散乱信号光は十分小さいので省略した。

【0031】図18はOF15の透過率Tの波長依存性を示すもので、波長1.5μmのSE光に対しては透過(T~1)、波長0.98μmの散乱励起光に対しては反射(T~0)である。

【0032】図19は実測した利得と光電流との関係を示すもので、同図(a)はOF15を用いない場合、同図(b)はOF15を用いた場合をそれぞれ示す。なお、測定はEDF11への入射励起光パワー(P_r)を1.0, 2.0, 3.0mWと変えて行った。

【0033】図19(a)に示すようにOF15を用いない場合、同一の光電流に対する利得は0.8dBの幅を持っている。一方、図19(b)に示すようにOF15を用いた場合、同一の光電流に対して利得の幅は0.1dB(測定限界)以下である。このように本実施例によれば、利得と光電流との対応関係が励起光パワーに拘らずほぼ一定となるため、利得監視の精度が向上する。

【0034】なお、前記誘電体多層膜光フィルタ15の代りに吸収型のフィルタ、例えば厚さ2μmのゲルマニウムを透明基板上に設置したものを用いても良い。図20はこのフィルタの透過率の波長依存性を示すもので、波長1.5μm及び0.98μmにおける透過率はそれぞれ0.37及び0.02である。

【0035】次に、励起光の波長が1.48μmの場合を説明するが、励起光の波長が0.98μmの場合とは使用する光フィルタが異なる。図21はEDF11からの出射光のパワースペクトルを示すものである。このエルビウム添加ファイバ増幅器は後置増幅器としても使われるため、EDF11中を伝播する信号光のパワーは小さく、散乱信号光も小さくないので、図面中に示されている。

【0036】図22は光フィルタの透過率Tの波長依存性を示すもので、波長1.5μmのSE光に対しては透過(T~1)、波長1.48μmの散乱励起光と波長1.552μmの散乱信号光に対しては反射(T~0)である。

【0037】このようなバンドパス特性を有する光フィルタは、波長0.98μm励起の場合と同様にSiO₂/TiO₂の多層膜で作成できる。利得と光電流との関係は波長0.98μm励起の場合と同様であり、利得監視の精度が向上する。

【0038】図23は図6の構成に対応した第2の実施

例を示すもので、第1の実施例とは用いる希土類添加ファイバが異なる。即ち、図中、12は波長0.98μmのレーザダイオード(LD)、13は合波器、14はゲルマニウム・フォトダイオード(PD)、17、18は光アイソレータ、19は高吸収係数のエルビウム(Er³⁺)添加ファイバ(EDF)である。

【0039】従来のEDFの波長1.55μmにおける吸収係数は、例えば0.5dB/m、EDF長(利得は約20dB)は50mである。これに対し、本実施例のEDF19の波長1.55μmにおける吸収係数は5dB/m、EDF長(利得は約20dB)は5mである。単位長さ当たりのSE光パワーは吸収係数に比例するので、他のEDFパラメータ及びPD14に面するEDFの長さが同じであるとすると、PD14へ入射する散乱励起光パワー(P_{scat})は、従来及び本実施例のEDFとも10nWである。一方、PD14へ入射するSE光パワー

(P_{SE})は、例えば従来のEDFで100nW、本実施例のEDFで1000nWであり、本実施例では従来例に比べて10倍のSE光パワーが得られる。即ち、前述したパワー比 P_{scat}/P_{SE} は、従来例の0.1から本実施例の0.

$$R(\lambda) = 1 - e^{-\alpha(\lambda)x} \quad \dots \dots (8)$$

$$R'(\lambda) = 1 - e^{-\alpha(\lambda)x'} \quad \dots \dots (9)$$

である。

【0043】ゲルマニウムでは、 $\alpha(1.5\mu m) = 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 、 $\alpha(0.98\mu m) = 2 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ であり、波長0.98μmにおける値の方が約4倍大きい。従来のPDではxを十分小さくとっているので、 $R(\lambda) \sim 0$ である。ここで、例えば $\alpha(1.5\mu m)x' = 1$ とすると、 $R'(1.5\mu m) = 1 - e^{-1} = 0.63$ 、 $R'(0.98\mu m) = 1 - e^{-4} = 0.98$ となる。従って、p層へ到着する光の割合 $T_{scat}(\lambda) (= 1 - R'(\lambda))$ は、 $T_{scat}(1.5\mu m) = 0.37$ 、 $T_{scat}(0.98\mu m) = 0.02$ となる。

【0044】図26はPD20の感度波長特性を従来のPDとともに示すものである。波長λにおける感度を $S(\lambda)$ 、感度比を $C' = S(0.98\mu m)/S(1.5\mu m)$ とする。従来のPDにおける感度をCとする。従来例における感度比C'は、 $C' = C \cdot T_{scat}(0.98\mu m)/T_{scat}(1.5\mu m) = C \cdot 0.054$ で与えられる。従って、前述した光電流比 I_{scat}/I_{SE} は、本実施例では従来のPDの0.054倍(約20分の1)に縮小され、この分だけ利得監視の精度が向上する。なお、SE光の波長1.5μmにおいて、本実施例の感度が従来のPDの感度の約0.4倍になるが、この程度の低下は利得監視の精度を低下させない。

【0045】図27は図10の構成に対応した第4の実施例を示すもので、第1の実施例とはパルス駆動回路及び光チョッパを用いた点が異なる。即ち、図中、11はエルビウム(Er³⁺)添加ファイバ(EDF)、12は波長0.98μmのレーザダイオード(LD)、13は合波

01へ減少する。従って、この分だけ利得監視の精度が向上する。

【0040】図24は図8の構成に対応した第3の実施例を示すもので、第1の実施例とは用いる受光素子が異なる。即ち、図中、11はエルビウム(Er³⁺)添加ファイバ(EDF)、12は波長0.98μmのレーザダイオード(LD)、13は合波器、17、18は光アイソレータ、20は波長選択性ゲルマニウム(Ge)・pinフォトダイオード(PD)である。

【0041】図25はPD20の構成、ここでは光入射端面の位置をゼロとした時のp層、i層、n層の深さを従来のPDとともに示すもので、同図(a)は従来のPD、同図(b)は本実施例のPDをそれぞれ示す。説明を簡単にするため、i層の厚さは十分大きく、i層へ入射した光は完全に吸収されるとする。また、従来及び本実施例におけるp層の厚さをそれぞれx及びx'とする。

【0042】波長λにおける吸収係数を $\alpha(\lambda)$ とすると、従来及び本実施例におけるp層での光吸収の割合、即ち $R(\lambda)$ 及び $R'(\lambda)$ は、それぞれ

$$R(\lambda) = 1 - e^{-\alpha(\lambda)x} \quad \dots \dots (8)$$

$$R'(\lambda) = 1 - e^{-\alpha(\lambda)x'} \quad \dots \dots (9)$$

器、14はゲルマニウム・フォトダイオード(PD)、17、18は光アイソレータ、21はパルス駆動回路、22は光チョッパである。なお、EDF11の長さLは10mである。

【0046】LD12をパルス駆動回路21で駆動する。EDF11へ入射する励起光の時間依存性を図28に示す。繰返し時間 $T_r = 2\mu s$ (繰返し周波数 $f_r = 1/T_r = 500 \text{ kHz}$)のパルス列である。励起光がEDF11を通過する時間 $T_{scat} = nL/c = 0.7 \mu s$ である。PD14へ入射する散乱励起光の空間平均パワーの時間依存性を図29に示す。

【0047】EDF11とPD14との間に光チョッパ22を設置するとともに、該光チョッパ22をパルス駆動回路21でLD12と同期して駆動する。この光チョッパ22の透過率の時間依存性を図30に示す。チョッピングの時間幅は0.3μsである。図30よりわかるように、散乱励起光は光チョッパ22で遮断され、SE光は通過となるので、光パワー比 P_{scat}/P_{SE} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0048】図31は図14の構成に対応した第5の実施例を示すもので、第1の実施例とはパルス駆動回路及び電気ゲートを用いた点が異なる。即ち、図中、11はエルビウム(Er³⁺)添加ファイバ(EDF)、12は波長0.98μmのレーザダイオード(LD)、13は合波器、14はゲルマニウム・フォトダイオード(PD)、17、18は光アイソレータ、21はパルス駆動回路、23は電気ゲートである。なお、EDF11の長さLは10mである。

【0049】LD12をパルス駆動回路21で駆動する。EDF11へ入射する励起光の時間依存性は図28と同様である。繰返し時間 $T_r = 2 \mu s$ (繰返し周波数 $f_r = 1/T_r = 500 \text{ kHz}$) のパルス列である。励起光がEDF11を通過する時間 $T_s = nL/c = 0.7 \mu s$ である。PD14へ入射する散乱励起光の空間平均パワーの時間依存性も図29と同様である。

【0050】PD14の周波数帯域 $f_{ph} = 1 \text{ MHz}$ であり、該PD14の後段に電気ゲート23を設置する。この電気ゲート23の透過率の時間依存性は図30と同様である。このような電気ゲート23はトランジスタを用いた増幅器(動作(オン)時の利得が1、非動作(オフ)時の利得が0)で容易に実現できる。ゲーティングの時間幅は $0.3 \mu s$ である。図30よりわかるように、散乱励起光による光電流は電気ゲート23で遮断され、SE光による光電流は通過となるので、光電流比 I_{SE}/I_{ph} が小さくなり、利得監視の精度が向上する。

【0051】なお、希土類添加ファイバとしては、エルビウム(Er³⁺)添加ファイバの外、ネオジウム(Nd³⁺)添加ファイバ、プラセオジウム(Pr³⁺)添加ファイバを用いることもできる。

【0052】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、光フィルタで散乱光を遮断することにより、又は光吸収係数が大きい希土類添加ファイバでSE光パワーを大きくすることにより、又は散乱光に対する感度が小さく且つSE光に対する感度が大きい受光素子を用いることにより、又はパルス状の励起光に同期させて光ゲートで散乱光を遮断するもしくは電気ゲートで散乱光による光電流を遮断することより、散乱光による光電流を除去あるいは抑圧でき、光電流で監視する利得への影響を排除でき、利得監視の精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1に対応する本発明の光増幅器を示す構成図

【図2】従来の光増幅器の一例を示す構成図

【図3】利得と光電流との関係を示す図

【図4】図1の構成における希土類添加ファイバからの出射光のパワースペクトルを示す図

【図5】光フィルタの透過率の波長依存性を示す図

【図6】請求項2に対応する本発明の光増幅器を示す構成図

【図7】図6の構成における希土類添加ファイバからの出射光のパワースペクトルを示す図

【図8】請求項3に対応する本発明の光増幅器を示す構成図

【図9】図8の構成における受光素子の感度の波長依存性を示す図

【図10】請求項4に対応する本発明の光増幅器を示す

構成図

【図11】図10の構成における希土類添加ファイバへ入射する励起光の時間依存性を示す図

【図12】図10の構成における受光素子へ入射する散乱励起光の空間平均パワーの時間依存性を示す図

【図13】図10の構成における光ゲートの透過率の時間依存性を示す図

【図14】請求項5に対応する本発明の光増幅器を示す構成図

【図15】図1の構成に対応した本発明の第1の実施例を示す構成図

【図16】図15中の利得監視部の詳細を示す図

【図17】図15の構成におけるエルビウム添加ファイバからの出射光のパワースペクトルを示す図

【図18】図15の構成における光フィルタの透過率の波長依存性を示す図

【図19】図15の構成における利得と光電流との関係を示す図

【図20】吸収型光フィルタの透過率の波長依存性を示す図

【図21】波長 $1.48 \mu m$ 励起におけるエルビウム添加ファイバからの出射光のパワースペクトルを示す図

【図22】波長 $1.48 \mu m$ 励起における光フィルタの透過率の波長依存性を示す図

【図23】図6の構成に対応した本発明の第2の実施例を示す構成図

【図24】図8の構成に対応した本発明の第3の実施例を示す構成図

【図25】図24の構成におけるフォトダイオードの構造を示す図

【図26】図24の構成におけるフォトダイオードの感度の波長依存性を示す図

【図27】図10の構成に対応した本発明の第4の実施例を示す構成図

【図28】図27の構成におけるエルビウム添加ファイバへ入射する励起光の時間依存性を示す図

【図29】図27の構成におけるフォトダイオードへ入射する散乱励起光の空間平均パワーの時間依存性を示す図

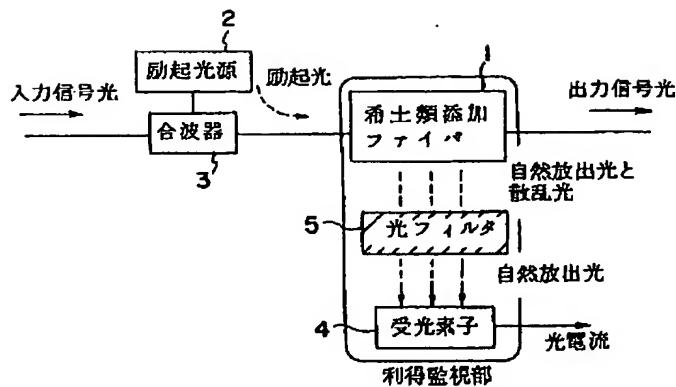
【図30】図27の構成における光ゲートの透過率の時間依存性を示す図

【図31】図14の構成に対応した本発明の第5の実施例を示す構成図

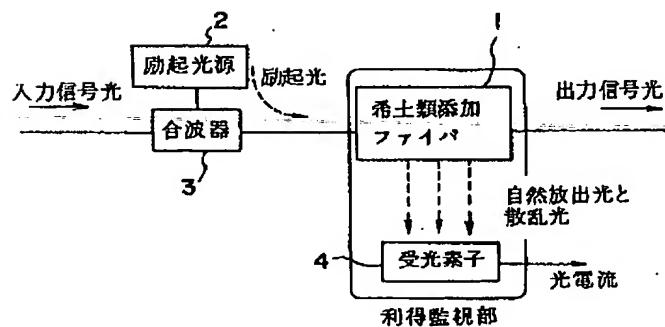
【符号の説明】

1…希土類添加ファイバ、2…励起光源、3…合波器、4…受光素子、5…光フィルタ、6…高吸収係数の希土類添加ファイバ、7…波長選択性受光素子、8…パルス駆動回路、9…光ゲート、10…電気ゲート。

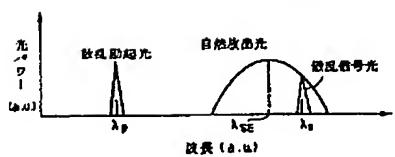
[図1]



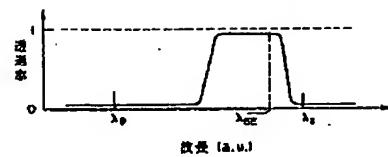
[図2]



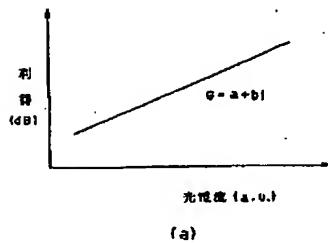
[図4]



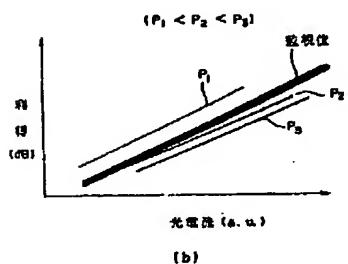
[図5]



[図3]

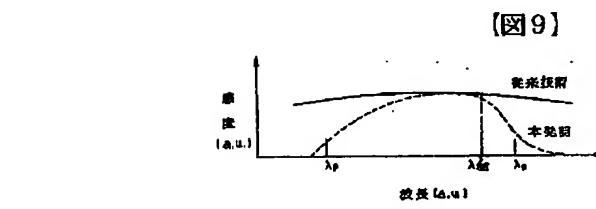
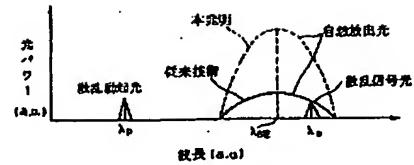


(a)

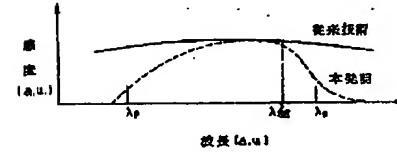


(b)

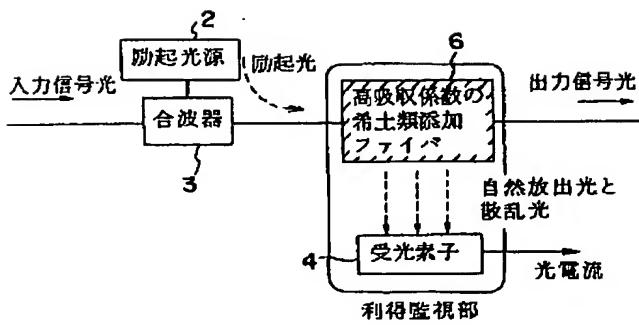
[図7]



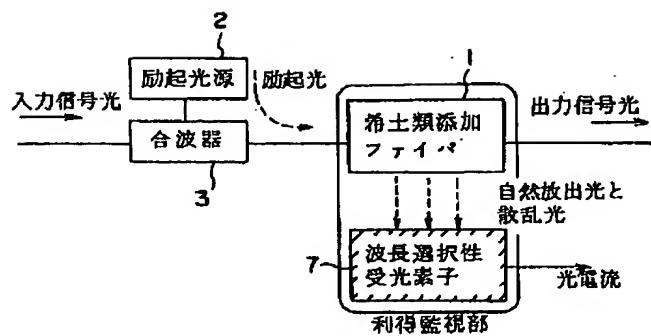
[図9]



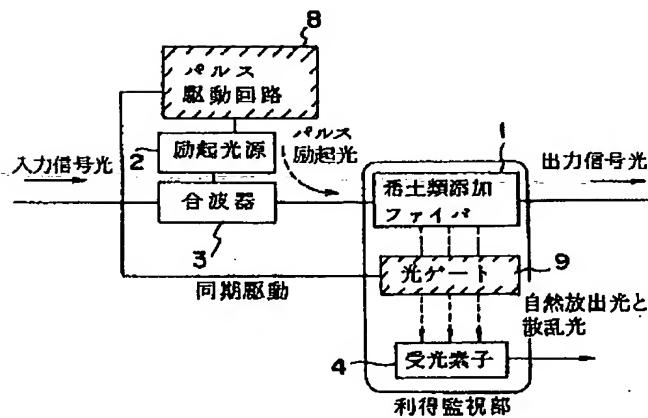
[図6]



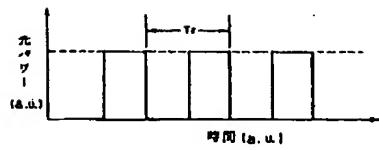
[図8]



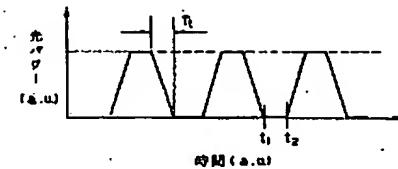
[図10]



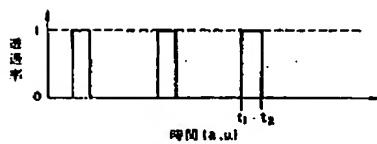
[図11]



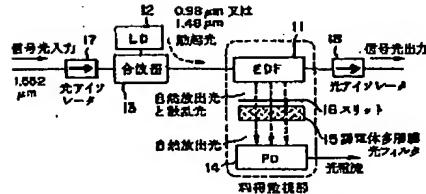
[図12]



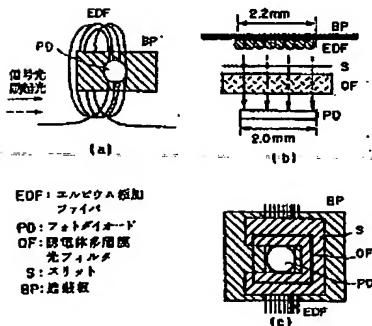
[図13]



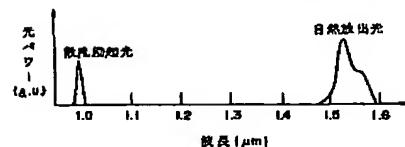
[図15]



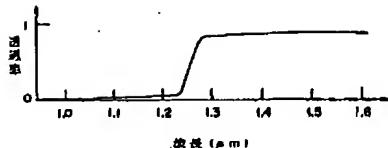
[図16]



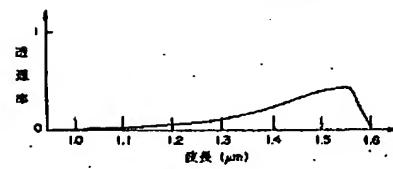
[図17]



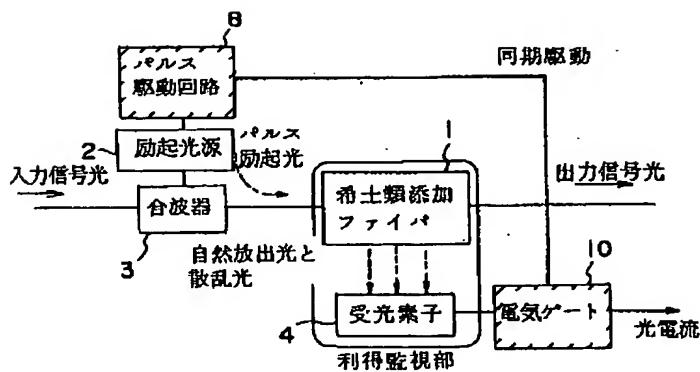
[図18]



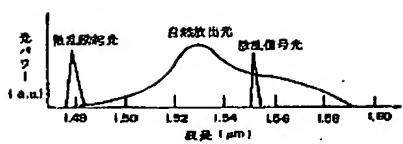
[図20]



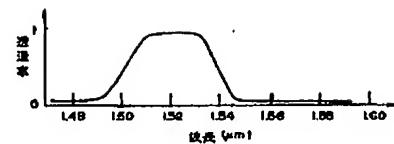
[図14]



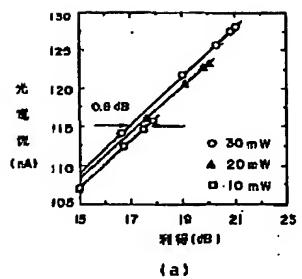
[図21]



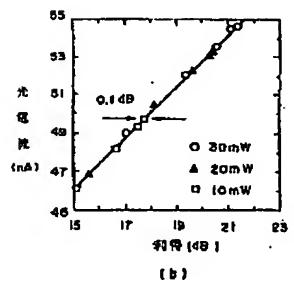
[図22]



【図19】

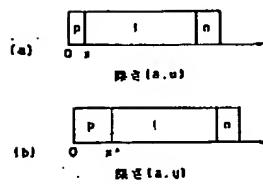


(a)

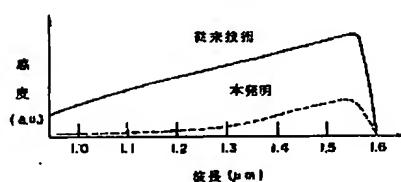


(b)

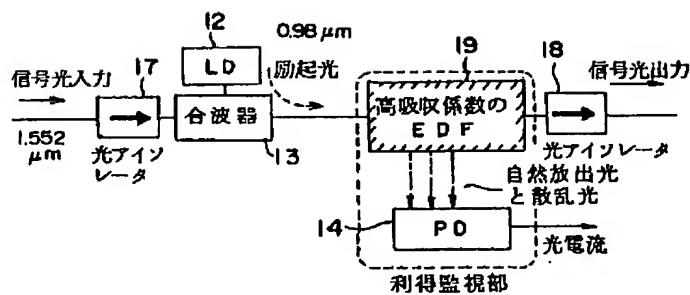
【図25】



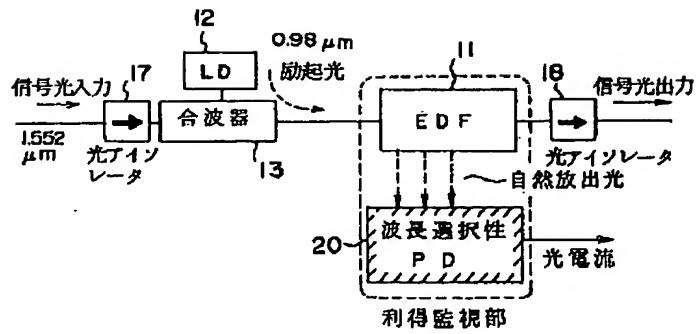
【図26】



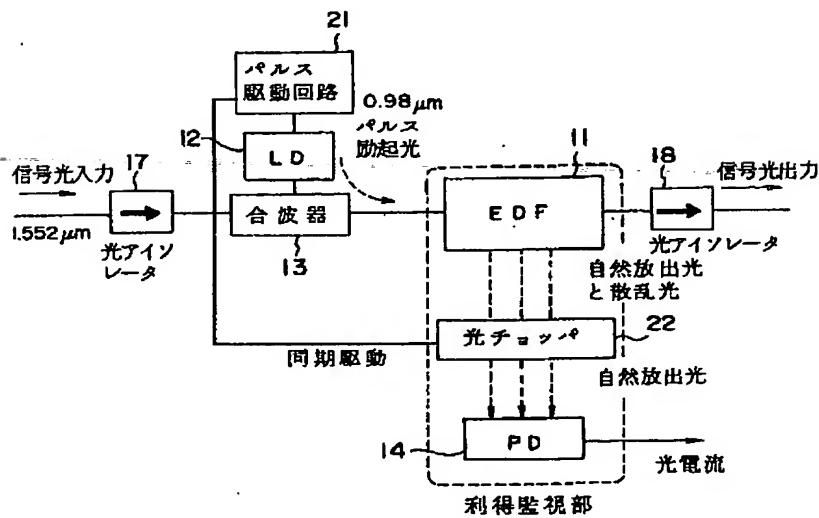
【図23】



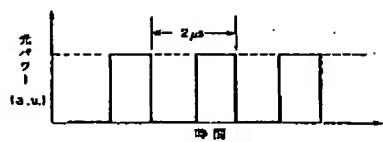
【図24】



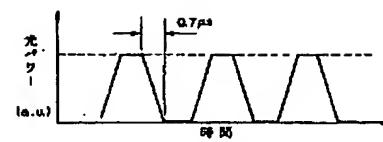
【図27】



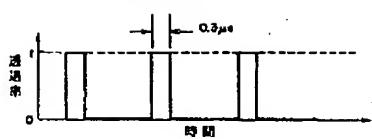
[図28]



[図29]



[図30]



[図31]

